



⑪

Offenlegungsschrift 25 49 627

⑫

Aktenzeichen: P 25 49 627.9-52

⑬

Anmeldetag: 5. 11. 75

⑭

Offenlegungstag: 24. 6. 76

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

6. 11. 74 Japan 127048-74

25. 3. 75 Japan 34929-75

⑤4

Bezeichnung:

Verfahren zur Messung von Abständen

⑦1

Anmelder:

Nippon Kokan K.K., Tokio

⑦4

Vertreter:

Leinweber, H., Dipl.-Ing.; Zimmermann, H.H., Dipl.-Ing.;
Wengersky, A. Graf von, Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦2

Erfinder:

Yamada, Takeo; Ando, Seigo; Yokohama; Watanabe, Katsujiro,
Tokio (Japan)

Prüfungsantrag gem. § 28b PatG ist gestellt

2549627

PATENTANWÄLTE

Dipl.-Ing. Hermann Leinweber
Dipl.-Ing. Heinz Zimmermann
Dipl.-Ing. A. Gf. v. Wengersky

8 München 2, Rosental 7
2. Aufgang (Kustermann-Passage)
Telefon (089) 2603989
Telex 528191 lepat d
Telegr.-Adr. Leinpat München

den 5. November 1975
Unser Zeichen I/C OP-1439-3

NIPPON KOKAN KABUSHIKI KAISHA, Tokyo / Japan

Verfahren zur Messung von Abständen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung des Abstandes zwischen einem Metallkörper, z.B. einem Stahlblock, und einem Fühler einer Meßvorrichtung. Nach der Erfindung soll insbesondere der Abstand zwischen einer Meßspule und dem Metallkörper mit hoher Genauigkeit gemessen werden, ohne daß der Metallkörper berührt wird.

Es ist bereits bekannt, einen Metallkörper unter Verwendung der elektromagnetischen Induktion zu vermessen, beispielsweise die Krümmung, Lage usw. einer Stahltafel während ihres Walzvorganges, und zwar mit hoher Genauigkeit ohne Berührung des Metallkörpers, wie es schematisch in Fig. 1 dargestellt ist. Gemäß dieser Anordnung ist ein Metallkörper 1 zu vermessen. Ein Bezugssoszillator 2, der Wechselstromsignale einer gegebenen Frequenz erzeugt, ist an die Eingangsanschlüsse einer Wechselstrom-Brückenschaltung 3 angeschlossen, die aus bekannten Impedanzen Z_1 , Z_3 und Z_4 und einer variablen Impedanz Z_2 besteht. Die Impedanz Z_2 ist in der Figur

609826/0645

-2-

ORIGINAL INSPECTED

durch eine Meßspule 4 verwirklicht. An die Ausgangsklemmen der Brückenschaltung 3 ist ein Differenzverstärker 5 angeschlossen. Wenn der Abstand zwischen der Meßspule 4 und dem Metallkörper 1 im wesentlichen unendlich groß ist und die Wechselstromsignale des Bezugssoszillators 2 an die Brückenschaltung 3 mit der Meßspule angelegt werden, ist die Brückenschaltung dann abgeglichen, wenn der Zustand $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$ herrscht. In diesem abgeglichenen Zustand ist der Ausgang der Brückenschaltung 3 gleich 0 und der Differenzverstärker 5 erzeugt kein Ausgangssignal. Wird der Abstand zwischen der Meßspule 4 und dem Metallkörper 1 gegenüber unendlich verringert, so ändert sich die Impedanz Z_2 der Meßspule 4 mit dem Abstand aufgrund der Änderung der Selbstinduktion, welche durch die elektromagnetische Induktion im Metallkörper verursacht wird. Bekanntlich ändert sich die Impedanz Z_2 nicht linear mit dem Abstand. Infolgedessen ist auch die Änderung des Ausgangssignals der Brückenschaltung 3 nicht linear. Dieses Ausgangssignal wird vom Differenzverstärker 5 auf einen gegebenen Wert verstärkt und dann einem anzeigenden oder registrierenden Meßgerät zugeführt, so daß also der Abstand ohne Berührung des Metallkörpers 1 gemessen wird. Fig. 2 zeigt ein Beispiel der gegenseitigen Beziehung zwischen dem Abstand zum Metallkörper 1 und der Ausgangsspannung des Differenzverstärkers 5.

Wie man aus Fig. 2 ersieht, ist die Ausgangscharakteristik hinsichtlich des Abstandes bei der bekannten Meßvorrichtung nicht linear. Mit einer Erhöhung des Abstandes nimmt die Änderung des Ausgangssignals ab, so daß keine hohe Meßgenauigkeit erreicht werden kann. Für den praktischen Gebrauch ist es deshalb notwendig, die Charakteristik durch Verwendung geeigneter Hilfsmittel wie einer äußeren Schaltung

linear zu machen. Da die Änderung der Impedanz Z_2 der Meßspule 4 bezüglich der Änderung des Abstandes zwischen der Meßspule 4 und dem Metallkörper 1 gering ist, ist es darüberhinaus notwendig, zur Erzielung einer ausreichenden Empfindlichkeit die Brückenschaltung 3 zu verwenden. Die Meßgenauigkeit wird in starkem Maß durch die Genauigkeit und die Charakteristiken der festen Impedanzen Z_1 , Z_3 und Z_4 bestimmt, die die Brückenschaltung bilden, so daß viel Geschicklichkeit zur Einstellung der Brückenschaltung erforderlich ist.

Zur Verminderung dieser Nachteile sind von den Erfindern bereits ein Verfahren und eine Vorrichtung vorgeschlagen worden (P 24 53 898 5), die in Fig. 3 veranschaulicht ist. In dieser Figur bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Wirkung wie in Fig. 1. Demnach ist mit dem Bezugssoszillator 2 ein Rückkopplungsverstärker 6 über einen Reihenwiderstand R_s verbunden. Parallel zum Verstärker 6 ist ein Rückkopplungswiderstand R_p geschaltet. Der Meßspule 4 ist zur Bildung eines Parallelresonanzkreises zusammen mit der Impedanz der Meßspule 4 ein Kondensator C parallelgeschaltet. Die eine festgelegte Amplitude und Frequenz aufweisenden Wechselstromsignale vom Bezugssoszillator 2 werden über den Reihenwiderstand R_s an den Parallelresonanzkreis angelegt und die über den Parallelresonanzkreis herrschende Spannung wird an die Eingangsklemme des Rückkopplungsverstärkers 6 angelegt, der diese Eingangsspannung zu einer Ausgangsspannung eines gewünschten Wertes verstärkt, die dann über den Rückkopplungswiderstand R_p positiv auf die Eingangsseite des Verstärkers 6 rückgekoppelt wird, wodurch ein Q-Vervielfacher gebildet wird.

Es wird nun der Abstand zwischen der Meßspule 4 und dem Metallkörper 1 auf im wesentlichen unendlich eingestellt und die Kapazität des Kondensators C so justiert, daß die Resonanzfrequenz des Parallelresonanzkreises gleich der Resonanzfrequenz des Oszillators 2 wird. Nimmt unter diesen Bedingungen der Abstand zwischen der Meßspule 4 und der Metallkörper 1 ab, so wird das von der Meßspule 4 erzeugte Wechselmagnetfeld mit dem Metallkörper 1 verkettet und die Impedanz der Meßspule 4 geändert. Als Ergebnis wird eine dem Abstand zwischen dem Metallkörper 1 und der Meßspule 4 entsprechende Eingangsspannung an den Rückkopplungsverstärker 6 angelegt und zu einer Ausgangsspannung an der Ausgangsklemme des Verstärkers 6 verstärkt. Durch Messung dieser Ausgangsspannung wird der Abstand zwischen dem Metallkörper 1 und der Meßspule 4 mit hoher Genauigkeit bestimmt.

Die Vorrichtung nach Fig. 3 löst die Linearitäts- und Genauigkeitsprobleme, jedoch können sich mit dieser Vorrichtung andere Schwierigkeiten und Probleme einstellen:

- (1) Da die Meßgenauigkeit von den Änderungen der Schwingungsfrequenz des Bezugsozillators 2 abhängt, wird für den praktischen Gebrauch ein Oszillator hoher Stabilität wie etwa ein Kristalloszillator benötigt;
- (2) Die Meßgenauigkeit kann dadurch verlängert werden, daß sich die Impedanz der Meßspule 4 mit Temperaturschwankungen ändert, wodurch die Resonanzfrequenz des Parallelresonanzkreises variiert;
- (3) Die Schwingungsfrequenz des Bezugsozillators und die Schwingungsfrequenz des Parallelresonanzkreises müssen einander angeglichen werden, jedoch ist die Einstellung für die Angleichung nicht einfach; und

(4) wegen der Verwendung des Resonanzkreises ist die Frequenzcharakteristik aufgrund der Bandcharakteristik nicht gut.

Demgegenüber soll durch die Erfindung ein berührungsfreies Verfahren zum Messen des Abstandes zu einem zu vermessenden Gegenstand mit hoher Empfindlichkeit angegeben werden, bei dem die Ausgangscharakteristiken der Messung in Bezug zum zu messenden Abstand linear sind und die erwähnten Nachteile vermieden sind. Das Verfahren soll so ausgestaltbar sein, daß die nicht lineare Abstands-Impedanzänderungs-Charakteristik so ergänzt wird, daß ein schließliches Ausgangssignal mit einer linearen Charakteristik durch Justierung der Ausgangscharakteristiken eines Rückkopplungsverstärkers erzeugt wird, der durch die Änderungen im Rückkopplungsgrad aufgrund der nichtlinearen Abstands-Impedanzänderungs-Charakteristik durch Bestimmung eines Verstärkungs- und/oder Rückkopplungsgrads im Rückkopplungsverstärker gesteuert wird. Außerdem soll gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Meßfehler aufgrund von Frequenzänderungen beseitigt werden und außerdem der Temperatureinfluß weitgehend reduziert werden können. Außerdem soll der Rückkopplungsgrad leicht justierbar sein, um die gegenseitige Beziehung zwischen der Ausgangsspannung und dem Abstand zum Metallkörper linear zu machen.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird die Rückkopplungsschaltung des Verstärkers durch eine Rückkopplungsimpedanz und die Impedanz der Meßspule zusammengesetzt und die Verstärkung des Verstärkers in Übereinstimmung mit dem Impedanzwert der Meßspule gesteuert. Der zu messende Abstand zwischen der Meßspule und dem Metallkörper kann durch Messen des Verstärkerausgangssignals bestimmt werden. Die Verstärkungscharakteristik des Rückkopplungsverstärkers wird so eingestellt, daß sich eine der Nichtlinearität der Abstands-Impedanzänderungs-Charakteristik der Meßspule komplementäre nichtlineare Charakteristik durch Veränderung der Verstärkung des Verstärkers und/oder Veränderung des positiven Rückkopplungsgrads

aufgrund des Werts der Rückkopplungsimpedanz ergibt, wodurch eine komplementär geschaffene Linearität in der Charakteristik erhalten wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die kontinuierliche berührungsfreie Messung des Abstandes zum Metallkörper und läßt sich vielfach verwerten, etwa zur Bestimmung der Lage, der Krümmung, der Form usw.

Da beim erfindungsgemäßen Verfahren die Messung durch Feststellung der Impedanzänderung der Meßspule aufgrund der Abstandsänderung zwischen der Meßspule und dem zu vermessenden Metallkörper durchgeführt wird, wird der Meßwert durch die Zusammensetzung des zu vermessenden Metallkörpers beeinflusst, die das Impedanzänderungsmaß der Meßspule beeinflusst. Ein derartiges Meßverfahren wird jedoch im allgemeinen für eine im wesentlichen festgelegte Zusammensetzung für eine lange Zeitspanne kontinuierlich durchgeführt, beispielsweise bei der Bearbeitung von Stahl und dem Walzen von Stahltafeln, so daß nach einmaligem Eichen für ein zu verwendendes Metall eine genaue Abmessung des Abstandes zum Metallkörper oder zu den Metallkörpern durchgeführt werden kann. Bei Anwendung auf Metallkörper wechselnder Zusammensetzung genügt eine Neueichung für die jeweiligen Metallkörper. Beispielsweise können bei der Messung verschiedener Stahlsorten von wechselnder Zusammensetzung wegen der geringen Änderung der magnetischen Charakteristik aufgrund der Stahlsorten die Meßfehler dann vernachlässigbar sein, wenn die Messung mit einer Eichung für ein und dieselbe Linie des Bearbeitens verschiedener Stahlsorten in einem Betrieb allgemein angewandt wird.

Kurz und zusammengefaßt dargestellt, ist die Erfindung verwirklicht bei der Messung des Abstandes zwischen einer Meßspule und einem zu vermessenden Metallkörper, wobei die Rückkopplungsschaltung eines Verstärkers eine Rückkopplungsimpedanz und die Impedanz der Meßspule zur Steuerung der Verstärkung des Verstärkers entsprechend dem Wert der Impedanz

der Meßspule enthält, wodurch die Impedanzänderungen der Meßspule aufgrund der Änderung des Abstandes zwischen der Meßspule und dem zu vermessenden Metallkörper festgestellt werden. Dieser Abstand kann durch Messen der Ausgangsspannung des Verstärkers bestimmt werden. Die Verstärkungscharakteristik des Verstärkers ist so eingestellt, daß sie eine Nichtlinearität äquivalent und komplementär zur Nichtlinearität der Charakteristik zwischen dem Abstand und der Impedanzänderung der Meßspule aufweist, indem die Verstärkung des Verstärkers und/oder der Grad der positiven Rückkopplung aufgrund des Werts der Rückkopplungsimpedanz verändert wird, wodurch eine ergänzte gegenseitige Linearität zwischen dem Ausgangssignal des Verstärkers und dem Abstand zwischen der Meßspule und dem Metallkörper erhalten wird.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich auf der folgenden Beschreibung und den Zeichnungen. In den Zeichnungen bedeuten:

- Fig. 1 einen Blockschaltplan einer bekannten Meßanordnung,
- Fig. 2 eine graphische Darstellung der Ausgangscharakteristik der Anordnung nach Fig. 1,
- Fig. 3 einen Blockschaltplan einer früher vorgeschlagenen Meßanordnung,
- Fig. 4 einen Blockschaltplan einer Grund-Meßanordnung zur Verwendung im erfindungsgemäßen Verfahren,
- Fig. 5 eine graphische Darstellung der Impedanzänderungscharakteristik der Meßspule in der Anordnung nach Fig. 4 ,

- Fig. 6 im einzelnen die Rückkopplungsschaltung in der Anordnung nach Fig. 4,
- Fig. 7 eine andere Ausführungsform der Rückkopplungsschaltung,
- Fig. 8 eine Äquivalentschaltung der Schaltung nach Fig. 7,
- Fig. 9 eine graphische Darstellung der Ausgangscharakteristiken der Anordnungen zur Durchführung der Erfindung, und
- Fig. 10 und 11 jeweils abgewandelte Ausführungsformen der Anordnungen von Rückkopplungsimpedanzen.

Gemäß Fig. 4 wird eine Meßspule 4 gegenüber einem zu vermessenden Metallkörper 1 angeordnet, ein Bezugsoszillator 2 mit einer Eingangsklemme eines Verstärkers 7 verbunden, dessen andere Eingangsklemme mit einem Ende der Meßspule 4 verbunden ist, und wird eine Rückkopplungsimpedanz Z_s zwischen die Ausgangsklemme und die andere Eingangsklemme des Verstärkers 7 geschaltet. Wechselstromsignale gegebener Amplitude und gegebener Frequenz vom Bezugsoszillator 2 werden an den Verstärker 7 angelegt und vom Verstärker auf eine Ausgangsspannung eines gewünschten Wertes verstärkt, von der ein Teil über die Rückkopplungsimpedanz Z_s als Wechselstromrückkopplungssignale an die Meßspule 4 angelegt wird. Die Impedanz Z_0 der Meßspule 4 ändert sich in Übereinstimmung mit dem Abstand zwischen der Meßspule 4 und dem Metallkörper 1. Die Änderungscharakteristik der Impedanz Z_0 ist durch die elektromagnetische Schleife gegeben, die den Metallkörper 1 enthält, und ist in Bezug zur Abstands-

änderung zwischen der Meßspule und dem Metallkörper nicht linear. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 5 dargestellt. Die Verstärkung \dot{A} des Rückkopplungsverstärkers ist durch die folgende Formel gegeben:

$$\dot{A} = G / (1 - G\dot{B})$$

wobei $\dot{B} = \dot{Z}_0 / (\dot{Z}_s + \dot{Z}_0)$, und

G = Verstärkung bei fehlender Rückkopplung.

Die Verstärkung des Rückkopplungsverstärkers wird also nur durch \dot{Z}_0 bestimmt, wenn G und \dot{Z}_s gegeben sind. Die Verstärkung \dot{A} ist von nichtlinearer Charakteristik in Bezug zur Änderung von \dot{Z}_0 , wie aus der angegebenen Formel ersichtlich ist, und kann durch Einstellung von G und \dot{Z}_s (B) jeden gewünschten nichtlinearen Charakteristikverlauf erhalten. Da die Änderung der Impedanz \dot{Z}_0 der Meßspule 4 in Bezug zur Abstandsänderung zwischen der Meßspule und dem Metallkörper nichtlinear ist, wie beschrieben wurde, und die Verstärkung \dot{A} des Verstärkers 7 eine gegenüber der Änderung von \dot{Z}_0 komplementäre Charakteristik haben kann, ist aufgrund der Ergänzung der Charakteristiken der Impedanz \dot{Z}_0 und der Verstärkung \dot{A} eine angenähert lineare Charakteristik der Verstärkung in Bezug zu den Abstandsänderungen zwischen der Meßspule und dem zu vermessenden Metallkörper zu erhalten. Der Abstand zwischen der Meßspule 4 und dem Metallkörper 1 kann also bei hoher Genauigkeit mit guter Linearität der Beziehung gemessen werden.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für den Aufbau der Rückkopplungsschaltung zur Justierung der Beziehung zwischen der Ausgangsspannung des Verstärkers 7 und dem zu messenden Abstand zum Metallkörper 1 in linearer Form. Gemäß der Figur ist eine Serienschaltung einer variablen Induktanz aufgrund einer Induktivität L_1 und eines variablen Widerstandes R_1 über den Verstärker 7 geschaltet. Der Induktanzänderungsbereich der variablen Induktivität L_1 beträgt allgemein bis zu 10:1 und durch Anwendung des Komplementäreffekts, der durch Justierung des Induktanzwertes innerhalb dieses Bereichs für den Verstärker erzielt wird, kann die Eingang/Ausgangscharakteristik des Meßsystems linear gemacht werden.

Mit der beschriebenen variablen Induktanz ist freilich die Feineinstellung schwierig. Wird eine Justierung von höherer Genauigkeit oder ein breiterer Induktanzänderungsbereich gefordert, so kann dies durch Aufbau der den Verstärker 7 überbrückenden Rückkopplungsschaltung 9 gemäß Fig. 7 erreicht werden, also aus einer Serienschaltung 11 aus einem veränderlichen Widerstand R_2 zum Teilen der Ausgangsspannung, einem Impedanzwandler 10 und einer festen Impedanz aufgrund einer Induktivität L_2 zusammen mit einem parallel zu dieser Serienschaltung geschalteten veränderlichen Widerstand R_3 . Die Blockschaltung nach Fig. 7 zeigt den Bezugsozillator 2, den Verstärker 7, die Meßspule 4 und die Rückkopplungsschaltung 9 zum Einstellen der linearen Beziehung zwischen dem Ausgangssignal des Verstärkers 7 und dem Abstand zwischen der Meßspule 4 und dem zu vermessenden Metallkörper 1.

In der Serienschaltung 11 kann die beobachtete Induktanz zwischen Punkten a und b in der Schaltung durch Änderung der Höhe, also der Amplitude der an die Induktivität L_2 angelegten Spannung verändert werden.

Es gilt nämlich:

$$i = \frac{e_{\text{aus}} \cdot 1/k}{j\omega L_2} = \frac{e_{\text{aus}}}{j\omega L_2 \cdot k} \dots\dots\dots(1)$$

wobei $k = \text{konstant}$.

Die Gleichung (1) zeigt, daß das Multiplizieren der Ausgangsspannung e_{aus} mit $1/k$ äquivalent dem Multiplizieren der festen Induktanz von L_2 mit k ist, wenn der zwischen den Punkten a und b fließende Strom betrachtet wird.

Die beobachtete Induktanz der Serienschaltung 11 kann also durch Veränderung des Widerstandswertes des veränderlichen Widerstandes R_2 geändert werden, wodurch sich die Höhe der an die feste Induktivität L_2 angelegten Spannung geändert. Ist also $k = R_2/R'_2$, wobei R'_2 der Widerstand zwischen Punkten c und d über den variablen Widerstand R_2 ist, so kann die Spannung zwischen den Punkten c und d einen Wert haben, der das $1/k$ -fache der Ausgangsspannung e_{aus} aufweist. Wäre der veränderliche Widerstand R_2 unmittelbar mit der festen Induktivität L_2 verbunden, so wäre ein parallel geschalteter Widerstand aus dem Widerstand R'_2 und einem Widerstand R''_2 zwischen den Punkten a und c in Reihe mit der festen Induktivität L_2 geschaltet und die Impedanz zwischen den Punkten a und b hätte eine Widerstandskomponente von R''_2/R'_2 und könnte nicht als nur aus einer Reaktanzkomponente bestehend betrachtet werden.

Der Impedanzwandler 10, der aus einem Element wie einem Emitterfolger oder einem Spannungsfolger besteht, ist entsprechend zwischen die feste Induktivität L_2 und den veränderlichen Widerstand R_2 eingesetzt, um die Widerstandskomponente R''_2/R'_2 zu minimalisieren, so daß sie

in Bezug zur festen Induktanz von L_2 vernachlässigbar wird. Als Ergebnis kann die Impedanz zwischen den Punkten a und b äquivalent als aus im wesentlichen nur der Reaktanzkomponente bestehend betrachtet werden. Infolgedessen kann die beobachtete Impedanz zwischen den Punkten a und b angenähert $j\omega L_2 \cdot k$ gemacht werden, indem der variable Widerstand R_2 in der Serienschaltung 11 eingestellt wird, und folglich kann die tatsächlich feste Induktanz L_2 durch Justierung des veränderlichen Widerstands R_2 wie eine variable Induktanz wirken. Die Rückkopplungsschaltung 9 kann also durch eine Äquivalentschaltung nach Fig. 8 dargestellt werden. Die kombinierte Impedanz Z_s in der Rückkopplungsschaltung 9 beträgt:

$$Z_s = \frac{R_3 \cdot j\omega L_2 \cdot k}{R_3 + j\omega L_2 \cdot k}$$

$$= \frac{\omega L_2 \cdot k \cdot R_3}{R_3^2 + (\omega k L_2)^2} (k \cdot \omega L_2 + jR_2) \dots\dots\dots (2)$$

Die Widerstandskomponente in der Rückkopplungsschaltung 9 kann also durch Veränderung des Werts von k , also durch Veränderung des Widerstandswertes R'_2 des veränderlichen Widerstandes R_2 , eingestellt werden und die Reaktanzkomponente kann durch Verändern des Widerstandswertes des variablen Widerstandes R_3 eingestellt werden. Die veränderlichen Widerstände R_2 und R_3 können übliche veränderliche Widerstände sein.

Da also bei der Ausführung nach Fig. 7 die Induktanzkomponente mit Hilfe der veränderlichen Widerstände auf jeden gewünschten Wert ohne Änderung der tatsächlichen Induktanz eingestellt werden kann, kann der Einstellbereich breiter sein

und die Feinjustierung besser durchführbar sein im Vergleich zum im Zusammenhang mit Fig. 6 beschriebenen Verfahren. Dies führt zur Verwirklichung einer leichten und sehr genauen Abstandsmessung.

Fig. 9 zeigt graphisch zum Vergleich die Charakteristiken gemäß der Erfindung und gemäß der Anordnung nach Fig. 3. Hierbei ist die Ausgangsspannung E_0 des Bezugsoszillators 2 fest und es wird nur seine Frequenz f_0 verändert. In der Figur geben durchgezogene Linien das Ergebnis bei erfindungsgemäßer Durchführung mit einem Frequenzänderungsverhältnis $\Delta f/f_0 = 4,3\%$ und die gestrichelten Linien das Ergebnis mit der Anordnung nach Fig. 3 mit einem Frequenzänderungsverhältnis $= 1\%$ an. Aus der Figur ist ersichtlich, daß gemäß der Erfindung der Ausgangsfehler in Bezug zur Frequenzänderung im Vergleich zur Anordnung nach Fig. 3 sehr gering ist.

Allgemein ändert sich die Impedanz der Spule mit Temperaturänderungen, insbesondere steigt die Impedanz an. Ändert sich die Temperatur der Meßspule 4, so ändert sich das Rückkopplungsverhältnis β und auch die Verstärkung A , was zu einem Meßfehler führt. Zum Beseitigen eines solchen Fehlers enthält die Rückkopplungsimpedanz Z_s die Induktivität L_1 oder L_2 gemäß den Ausführungen nach den Fig. 6 und 7 und sind die Meßspule 4 und die Spule der Impedanz Z_s gemäß den Figuren 10 und 11 um einen zusammenhängenden Kern 8 gewickelt. Da die Impedanzänderungsverhältnisse in Bezug zu Temperaturänderungen in den jeweiligen Spulen einander angenähert gleichen, wird das Rückkopplungsverhältnis auf einem konstanten Wert gehalten. Somit kann die berührungsfreie Abstandsmessung in hoher Güte unabhängig von Temperaturänderungen verwirklicht werden.

Die Rückkopplungsschaltung enthält also keine Resonanzschaltung und der Verstärker hält, wie Fig. 9 zeigt, unabhängig von Schwingungsfrequenzänderungen des Bezugssoszillators 2 eine gute Charakteristik aufrecht, so daß die Messung mit beliebiger gewünschter Schwingungsfrequenz durchgeführt werden kann, die Justierung leicht ist und somit die Messung mit guter Frequenzcharakteristik durchzuführen ist.

609826/0645

P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Verfahren zum Messen des Abstandes zwischen einer Meßspule und einem zu vermessenden Metallkörper, bei dem man von einem Bezugssoszillator erzeugte Wechselspannungssignale an einem Rückkopplungsverstärker anlegt, und durch die Ausgangsspannung des Verstärkers den Abstand zwischen der Meßspule und dem im Bereich der Meßspule angeordneten Metallkörper mißt, dadurch gekennzeichnet, daß man in die Rückkopplungsschaltung (9) des Rückkopplungsverstärkers (7) die Impedanz der gegenüber dem zu vermessenden Metallkörper (1) angeordneten Meßspule (4) einbezieht, die Verstärkung des Verstärkers (7) durch die Impedanzänderungen der Meßspule (4) steuert und den Rückkopplungsgrad des Verstärkers (7) und/oder die Verstärkung des Verstärkers (7) zur Zeit fehlender Rückkopplung so festlegt, daß zumindest innerhalb eines gegebenen Bereichs die Ausgangscharakteristik des Verstärkers in Bezug zu den Abstandsänderungen zwischen der Prüfspule (4) und dem Metallkörper (1) linearisiert ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückkopplungsschaltung (9) zum Linearisieren der gegenseitigen Charakteristik der Ausgangsspannung des Rückkopplungsverstärkers (7) hinsichtlich des zu messenden Abstandes ein Rückkopplungsimpedanzelement mit einem Induktanzelement enthält.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Rückkopplungsimpedanzelement eine Serienschaltung einer veränderlichen Induktivität (L_1) und eines veränderlichen Widerstands (R_1) enthält.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückkopplungsschaltung (9) eine Parallelschaltung einer Serienschaltung (11) aus einem variablen Widerstand (R_2) zum Teilen der Ausgangsspannung, einem Impedanzwandler, (10) und einer festen Induktanz (L_2) mit einem variablen Widerstand (R_3), der zu dieser Serienschaltung (11) parallelgeschaltet ist, enthält.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßspule (4) zur automatischen Kompensation eines von Temperaturänderungen abhängigen Meßfehlers der Meßspule elektromagnetisch mit einer Spule (L_1 , L_2) gekoppelt ist, die das Induktanzelement des Rückkopplungsimpedanzelementes zur Bildung der Rückkopplungsschaltung darstellt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Spulen um einen gemeinsamen Kern (8) gewickelt sind, der einen gemeinsamen magnetischen Pfad bildet.

609826/0645

4
Leerseite

FIG. 1

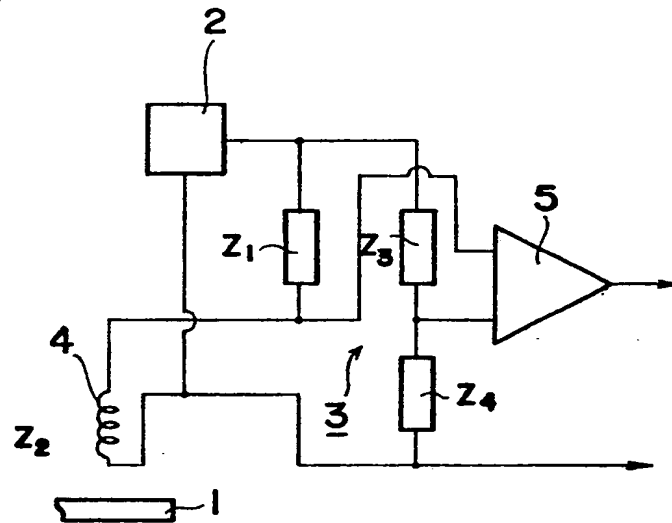
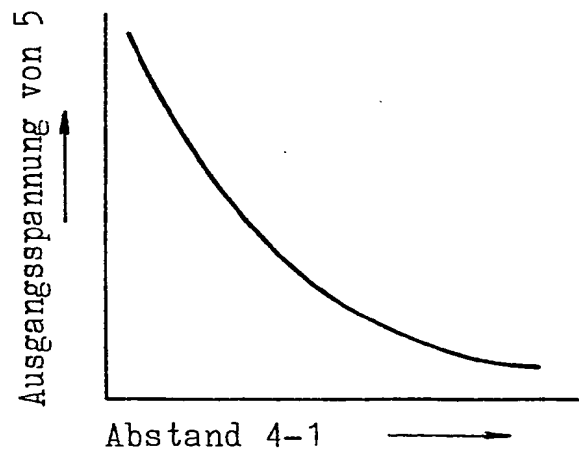


FIG. 2



G01B

7-14

AT:05.11.1975

OT:24.06.1976

609826/0645

FIG. 3

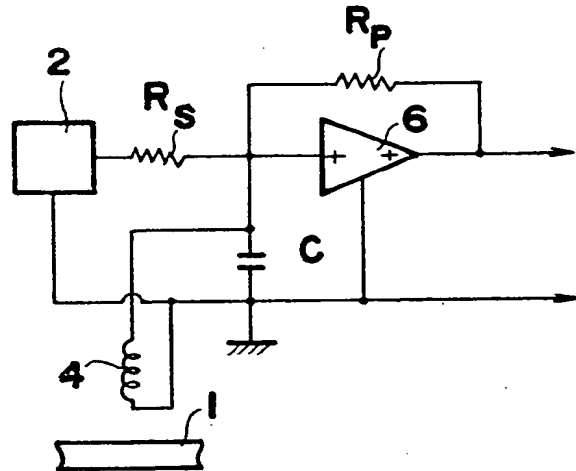
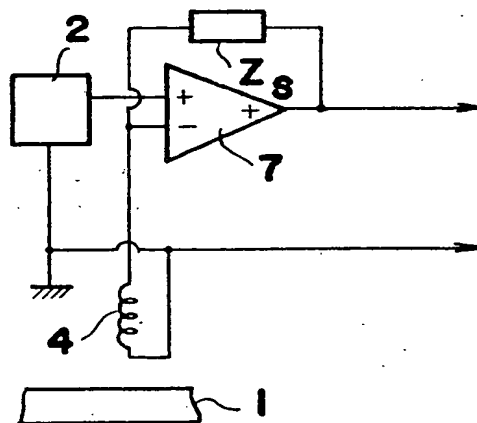


FIG. 4



609826/0645

FIG. 5

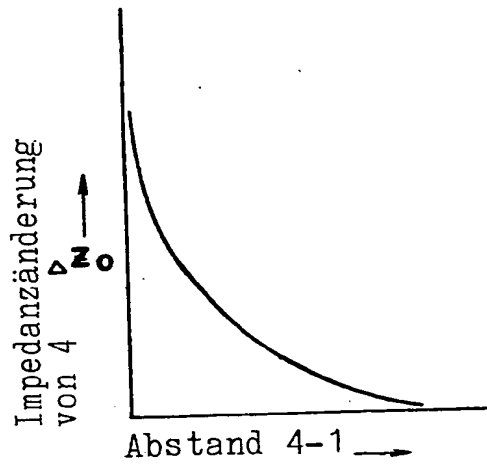


FIG. 6

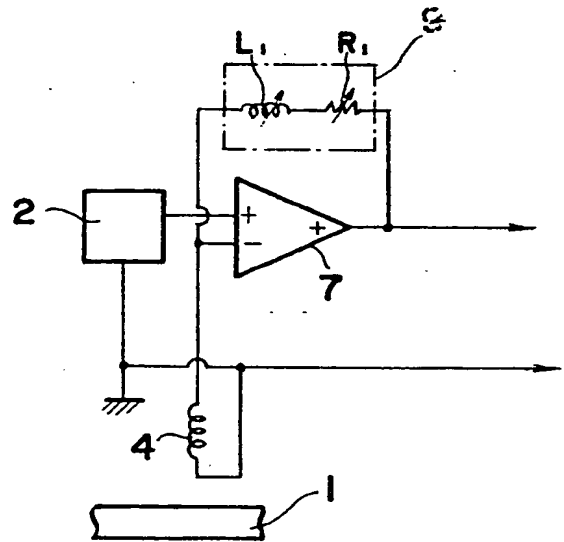


FIG. 7

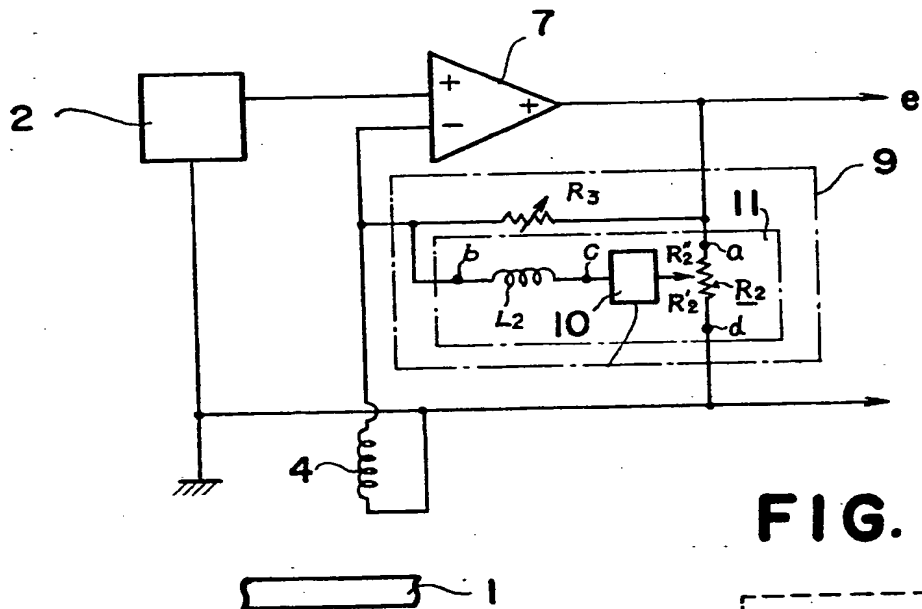
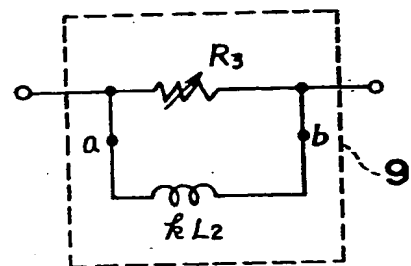


FIG. 8



609826/0645

FIG. 9

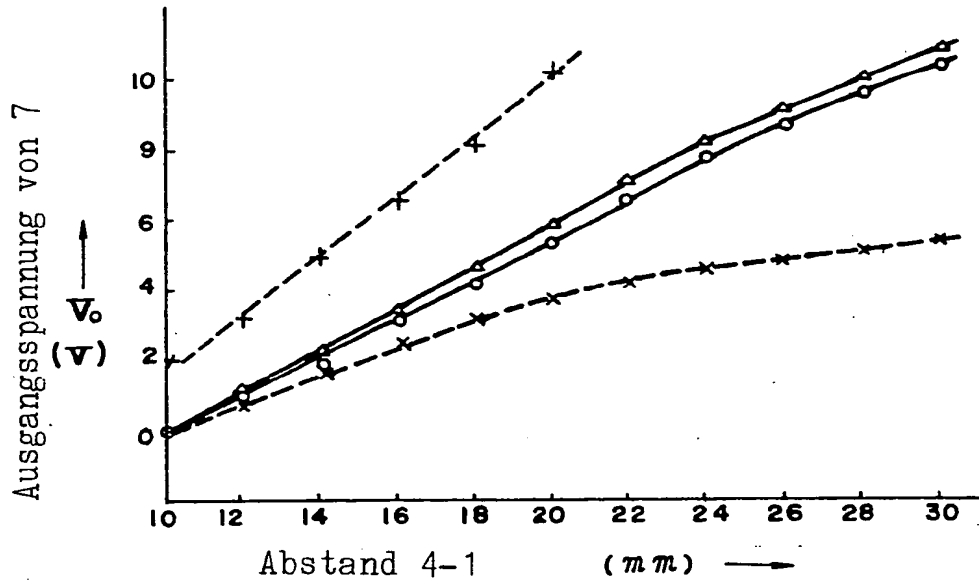


FIG. 10

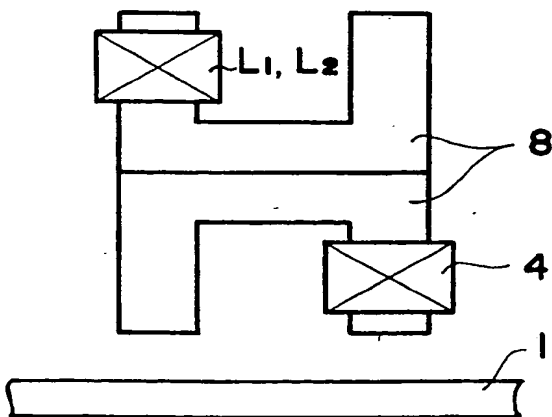
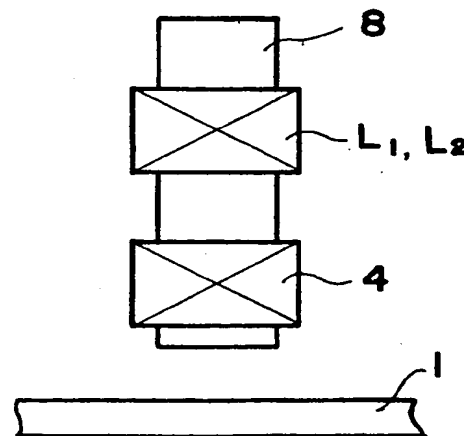


FIG. 11



609826/0645

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.